

О. В. ШУТЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;
Д. М. БАКЛАЙ, аспірант НТУ «ХПІ»;
Т. Г. ГОРОЖАНКІНА, магістр, НТУ «ХПІ»

АНАЛІЗ ГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ТИПУ ДЕФЕКТУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ХАРГ

У статті виконаний порівняльний аналіз відомих графічних методів, які використовуються для розпізнавання типу дефекту за результатами аналізу розчинених у маслі газів. Наведені алгоритми побудови й процедури прийняття рішень усіх відомих методів. Проаналізовані способи завдання координат, способи завдання діагностичного об'єкта й кількість дефектів, що розпізнаються за допомогою аналізованих методів. На основі аналізу відомих графічних методів інтерпретації результатів ХАРГ встановлено, що всі розглянуті методи можна розділити: за способом представлення об'єкта, що діагностується, по способу завдання координат, по кількості розпізнаваних дефектів. На основі виконаного аналізу запропоновані основні напрямки по вдосконаленню графічних методів.

Ключові слова: дефект, графічний образ, розчинені в маслі гази, трикутник Дюваля, метод фірми GATRON, метод Дорненбурга, метод ETRA, логарифмічний метод номограм, пелюсткова діаграма.

Вступ. В наш час, для визначення типу дефекту, прогнозованого за результатами хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів (ХАРГ), крім аналітичних методів, заснованих на аналізі відносин пар газів, використовуються й графічні методи розпізнавання. Дані методи відрізняються як по кількості й типу розпізнаваних дефектів, так і по способах завдання координат і уявлення об'єкта, що діагностується. Очевидно, що використання різних методів, при розпізнаванні типу дефекту, може привести до постановки різних діагнозів. У зв'язку із цим виникає об'єктивна необхідність в аналізі існуючих графічних методів інтерпретації результатів ХАРГ.

Аналіз публікацій. У діючому в Україні нормативному документі [1], для розпізнавання типу дефекту, крім відносин пар газів, рекомендується використовувати графічні образи дефекту, трикутник Дюваля та квадрат ETRA. У методиці, що діє в РФ [2], рекомендовані до використання графічні образи дефектів. У країнах ЄС [3], також використовуються графічні методи розпізнавання типу дефекту, наприклад, трикутник фірми GATRON, у Канаді широке поширення одержав трикутник Дюваля [4] і т.д. Найбільш повний опис основних

методик по інтерпретації результатів ХАРГ наведене в роботах [3, 4]. В [5] виконаний порівняльний аналіз вірогідності поставлених діагнозів при використанні графічних образів дефектів і відносин пар газів. Незважаючи на значну кількість публікацій, у яких, описуються графічні методи розпізнавання, деякі питання, пов'язані з аналізом принципів побудови цих методів, залишаються неосвітленими, що й послужило приводом до написання даної статті.

Ціль статті. У даній статті наведені результати порівняльного аналізу графічних методів розпізнавання типу прогнозованого дефекту за результатами хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів.

Основний матеріал. Розглянемо найбільш відомі графічні методи розпізнавання.

Трикутник Дюваля. Це перший приклад підходу до визначення характеру дефекту не розрахунково-логічним, а графічним методом. Даний діагностичний метод був розроблений в 1974 р. відомим канадським фахівцем М. Дювалем в енергетичній компанії Hydro-Quebec [3, 4]. Метод дозволяє за значеннями концентрацій трьох газів (C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4) побудувати точку на графіку, представленому у вигляді трикутника (див. рис. 1). Площа трикутника, за методикою Дюваля, розділена на сім зон. Кожна зона відповідає певному типу дефекту трансформатора. Усього розглядається сім дефектних станів: \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_3 , \mathcal{E}_4 , $\mathcal{E}T$, T_2 , T_3 і T_4 . По приналежності точки конкретній зоні визначається вид дефекту.

Спочатку розглянемо, як будується трикутник Дюваля. По-перше, цей трикутник рівносторонній. На кожній стороні відкладається відносно значення вмісту певного газу, яке може змінюватися від 0 до 100% за годинниковою стрілкою. При цьому сума значень концентрацій усіх газів ухвалюється за 100%, а процентні концентрації кожного газу визначаються від цієї суми. По-друге, при нанесенні границь зон дефектів лінії проводяться паралельно відстаючій стороні трикутника, тобто якщо точка береться на стороні CH_4 , то пряма із цієї точки проходить паралельно стороні C_2H_2 , якщо точка береться на стороні C_2H_4 , то – паралельно стороні CH_4 і т.д. По-третє, для проведення ліній і визначення відповідних зон використовуються значення, наведені в табл. 1. У результаті зазначених побудов виходить трикутник Дюваля (див. рис. 1).

При практичному використанні даного методу необхідно знайти процентний вміст кожного газу, відкласти його на відповідній стороні трикутника й з кожної точки провести три лінії паралельно відстаючій

стороні, які перетнуться в одній точці. Місце розташування цієї точки визначить зону й дефект, що діагностується.

Таблиця 1 – Координати границь зон дефектів

Код	Дефект	Сторона трикутника	Точка, %
Э ₁	Часткові розряди з низькою щільністю енергії	CH ₄	98
Э ₃	Розряди малої потужності	C ₂ H ₄ C ₂ H ₂	23 13
Э ₄	Розряди великої потужності	C ₂ H ₄ C ₂ H ₂	23, 40 13, 29
ЭТ	Розрядний і термічний дефект	C ₂ H ₄ C ₂ H ₂	40, 50 4, 13, 15, 29
T ₂	Термічний дефект у діапазоні низьких температур (150–300°C)	C ₂ H ₄ C ₂ H ₂	20 4
T ₃	Термічний дефект у діапазоні середніх температур (300–700°C)	C ₂ H ₄ C ₂ H ₂	20, 50 4
T ₄	Термічний дефект високої температури (>700°C)	C ₂ H ₄ C ₂ H ₂	50 15

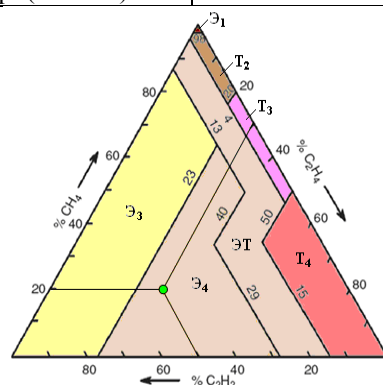


Рис. 1 – Трикутник Дюваля

Розглянутий метод не тільки наочно показує «місце» дефекту, але й дозволяє спостерігати за траєкторією його розвитку, коли через певний час робиться декілька ХАРГ і одержувані точки послідовно наносяться на трикутник. У якості недоліку методу можна назвати неповне використання діагностичної інформації, одержуваної в результаті ХАРГ.

Метод фірми GATRON. Цей метод був розроблений у німецькій фірмі GATRON GmbH [3]. Він ґрунтується на аналізі семи газів, розчинених у трансформаторному маслі. Тут, крім звичних водню, метану, ацетилену, етилену й етану, розглядаються пропілен (C₃H₆) і пропан (C₃H₈). Даний підхід застосовується в системах моніторингу силових трансформаторів у ряді європейських країн. Як і в «Трикутнику Дюваля» інтерпретація результатів хроматографічного аналізу виконується шляхом геометричної побудови точки на площині рівностороннього трикутника, який у даній методиці називається газовим трикутником дефектів (fault gas triangle) (див. рис. 2).

Діагностування тільки по трьом газам у методиці Дюваля, як ми вже відзначали, у деяких випадках може привести до помилок при визначенні виду дефекту, тому що при аналізі не розглядається водень і інші гази. У методі фірми GATRON набір газів досить представницький, але оскільки мова йде про сторони трикутника, то тут пропонується такий підхід:

- одна сторона трикутника закріплюється за H₂;
- друга – за C₂H₂;
- нарешті, третя – за сумою газів, яку позначимо як CH₄⁺.

Під CH₄⁺ розуміється зважена сума вуглеводневих газів CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, і C₃H₈. Вона може бути обмірювана безпосередньо датчиком при моніторингу або отримана підсумовуванням результатів повного хроматографічного аналізу.

Також як і в методиці Дюваля сума H₂, C₂H₂ і CH₄⁺ ухвалюється за 100 %. За результатами ХАРГ визначаються частки (у відсотках) кожної із трьох величин і потім відкладаються на відповідних сторонах трикутника. Після цього проводяться прямі паралельно відстаючої (якщо рухатися за годинниковою стрілкою) стороні трикутника. Усі лінії, як і в Дювалі, перетнуться в одній точці.

У даному методі визначаються наступні види дефектів: Э₁, Э₃, Э₄, T₂, T₃ і T₄ і, крім того, раніше не розглянутий дефект за назвою «перетікання масла з бака контактора РПН», який позначимо як ПМ.

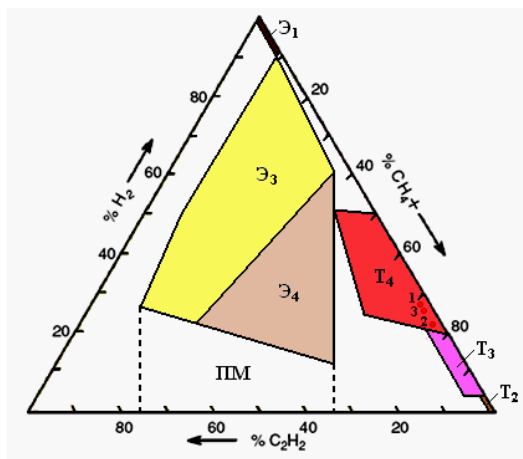


Рис. 2 – Трикутник фірми GATRON: – приклади діагностичних точок

Метод Дорненбурга. У цьому методі використовується побудова залежностей C_2H_2/C_2H_4 від CH_4/H_2 , і від C_2H_4/C_2H_6 , у подвійному логарифмічному масштабі [4], окремі зони на графіку відповідають областям: термічної деградації, дугових і часткових розрядів (див. рис. 3).

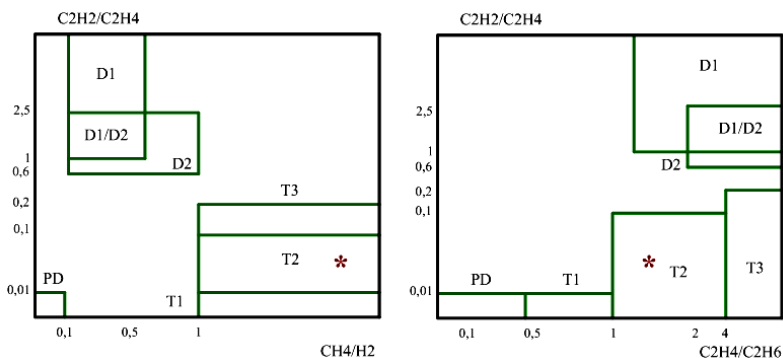


Рис. 3 – Зони розподілу дефектів по Дорненбургу: PD – часткові розряди; D1 – розряди низької енергії; D2 – розряди високої енергії; T1 – термічні дефекти при $T < 300^\circ C$; T2 – термічні дефекти при $T = 300-700^\circ C$; T3 – термічні дефекти при $T > 700^\circ C$

Метод недостатньо чітко розрізняє дефекти, але дає можливість використовувати гази з газового реле.

Метод ETRA. Цей метод був розроблений у компанії Electra Technology Research Association (Японія) [1, 3]. Для виявлення характеру дефекту аналізуються відносини трьох газів: C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 . На відміну від двох попередніх методів у цьому випадку будується не трикутник, а квадрат, на двох сторонах якого наносяться нерівномірні шкали. У площі квадрата виділені зони, що відповідають тому або іншому виду дефекту. Механізм виділення зон наочно видний з рис. 4

Алгоритм визначення виду дефекту досить простий:

- розраховуються відносини C_2H_2/C_2H_6 і C_2H_4/C_2H_6 ;
- по осі абсцис у масштабі відкладається значення відносини C_2H_4/C_2H_6 , а по осі ординат – значення відносини C_2H_2/C_2H_6 ;
- точка перетинання перпендикулярів, відновлених з отриманих точок, вкаже на зону, що відповідає тому або іншому виду дефекту.

Якщо концентрація C_2H_2 менше, чим границя його визначення, то цей газ вважається відсутнім. Відношення C_2H_2/C_2H_6 у цьому випадку не розраховується, а умовно ухвалюється рівним 0,005. При цьому в устаткуванні можна діагностувати тільки термічні дефекти.

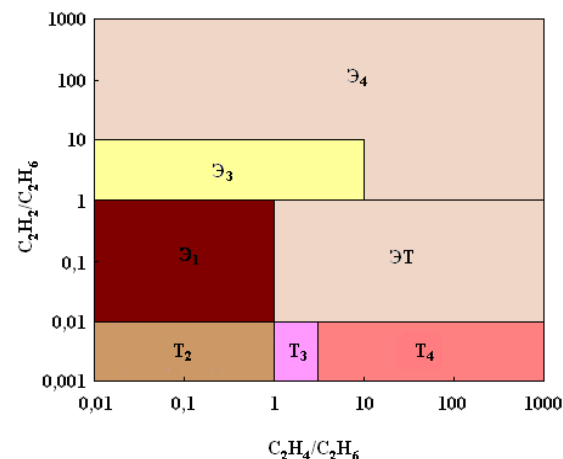


Рис. 4 – Квадрат ETRA

Логарифмічний метод номограм. Був розвинений J. O. Church в 1980 р. Цей метод базується на критерії ключового газу. У методі

графічно представлені як газові концентрації, так і засобу інтерпретації дефектів. Номограма складається з ряду вертикальних логарифмічних шкал, що представляють концентрації окремих газів (див. рис. 5).

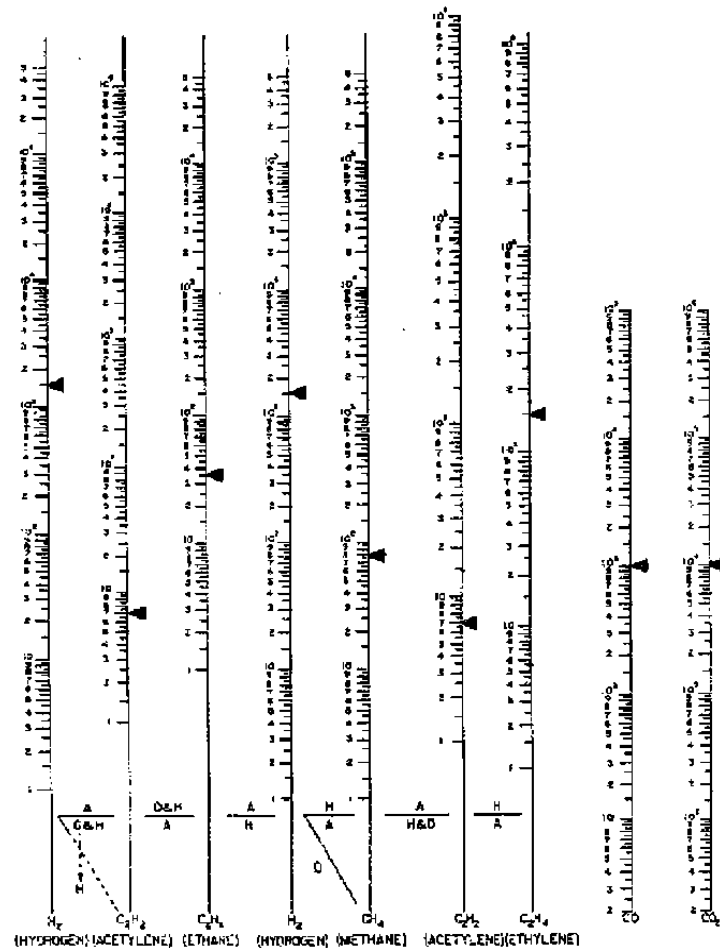


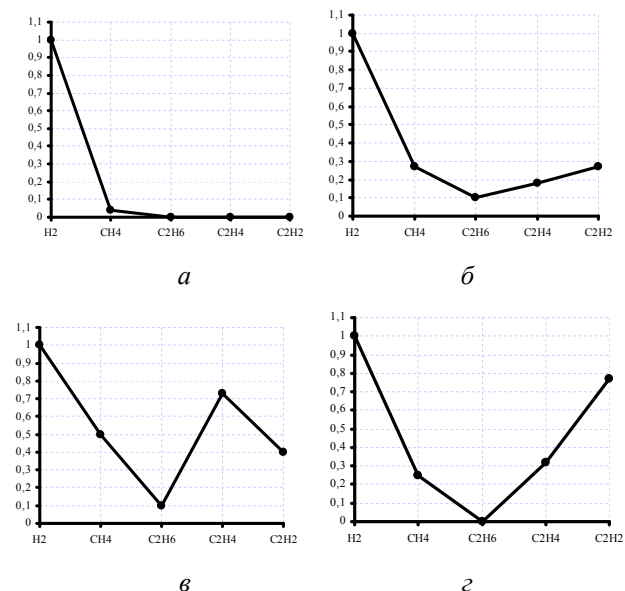
Рис. 5 – Логарифмічна номограма

У цьому методі між сусідніми шкалами проведені прямі лінії, що з'єднують точки, що представляють значення концентрацій газів. Нахили цих ліній – діагностичні критерії для визначення типу

ушкодження. Ключ у підстави діаграми між двома осями вказує на тип дефекту для цих двох осей [4].

Візуальне порівняння нахилів лінійних сегментів із ключами, даними в основі номограм, необхідно для ідентифікації типу дефекту (перегрів, дуга або часткові розряди). Кожному вертикальному масштабу стрілкою привласнене граничне значення. Ця методика може застосовуватися, якщо хоча б одне зі значень перевищує граничне [4]. Недоліком цього методу є бідність діагностичного висновку, тому що ідентифікувати можна розвиток тільки трьох основних дефектів.

Графічні образи дефектів. Даний метод графічної побудови образів різних дефектів у силових трансформаторах також був запропонований японськими дослідниками [1, 3]. Ці образи будуються по концентраціях п'яти газів: H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 . Метод був розроблений на основі практичного досвіду зіставлення фактично виявлених дефектів з концентраціями газів, отриманими за допомогою ХАРГ. Слід зазначити, що ці образи будують для устаткування, у якому концентрації деяких або хоча б одного газу перевищують граничні значення.



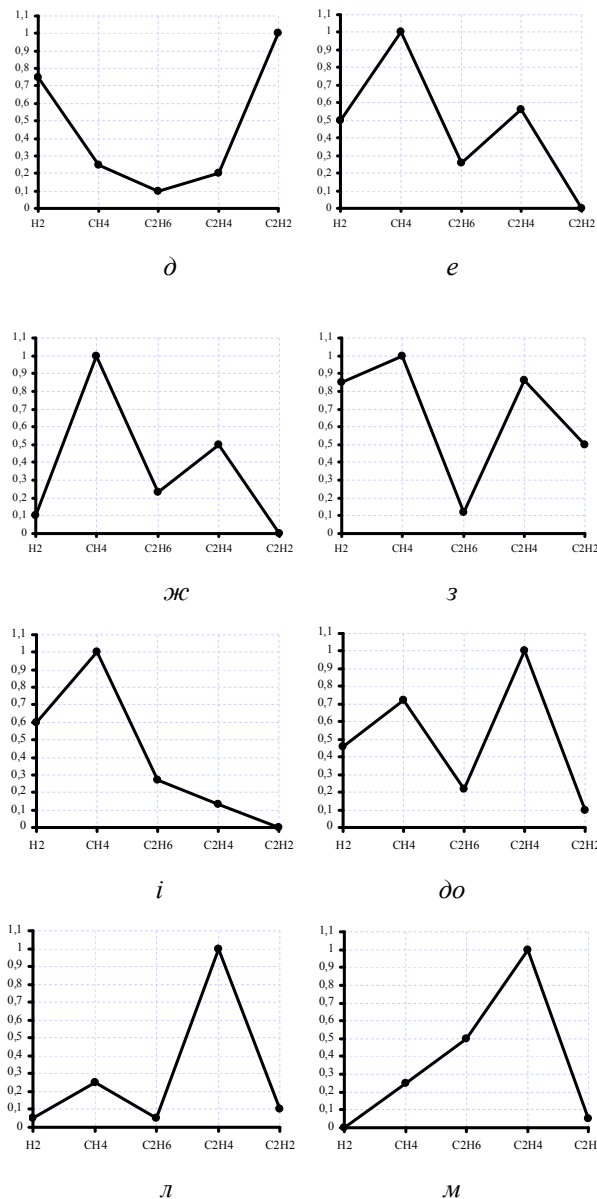


Рис. 6 – Графічні образи дефектів: *а* – часткові розряди; *б* – розряди великої енергії; *в* – іскріння, повзучий розряд; *г*, *д* – дуга; *е*, *ж* – нагрівання низької температури; *з* – нагрівання, що переходить в дугу; *і* – нагрівання, що переходить в ЧР; *до*, *л* – нагрівання високої температури; *м*, *н* – нагрівання, що переходить в розряди

Приведемо алгоритм побудови графічного образу дефекту:

1. За результатами ХАРГ серед усіх газів вибирають той, який має найбільшу абсолютну концентрацію.
2. Визначають величину відносини кожного газу до газу, що має найбільшу концентрацію. Відношення газу з найбільшою концентрацією ухвалюється за одиницю, відношення інших газів будуть менше одиниці.
3. Будують графік образу дефекту, на якому по осі абсцис розміщують гази строго в наступному порядку: H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , а по осі ординат відкладають обчислене відношення для кожного із цих газів. Отримані точки з'єднують лінією.
4. Порівнюють отриманий графік з тестовими образами й вибирають той, де досягається максимальний збіг. Цей образ і визначає вид дефекту.

Порівнюючи отриманий образ дефекту з образами відомих дефектів, відносимо його до того чи іншого виду. Під час порівняння образів враховують, який газ має максимальну концентрацію й співвідношення між окремими газами.

На рис. 6 [6], наведені відносні (наведені до найбільшого) значення концентрацій газів для ряду дефектів, отримані оцифрованою номограм, рекомендованих міжнародної енергетичною комісією. У них крім газів вуглеводневого ряду й водню використовуються оксид і діоксид вуглецю. Дані гази використовуються для визначення

ушкодження основної ізоляції трансформаторів. Графіки на рис. 6 наведені без ушкодження твердої ізоляції.

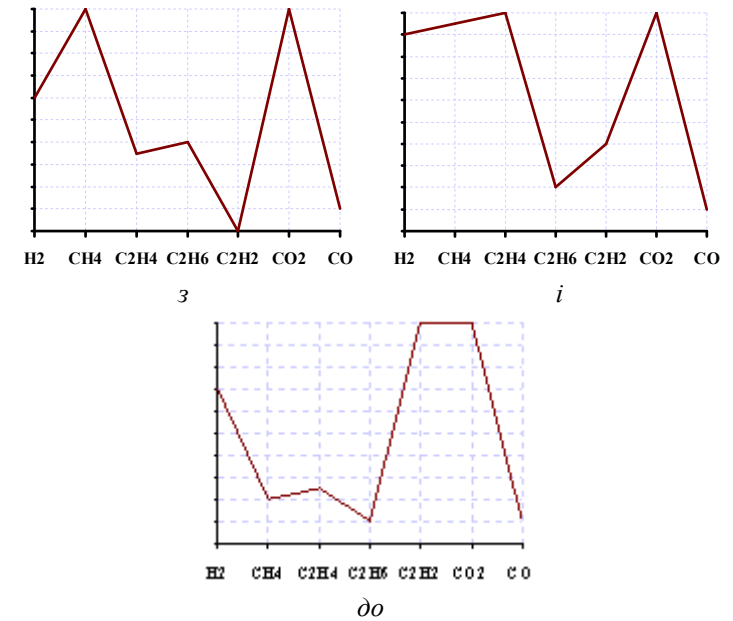
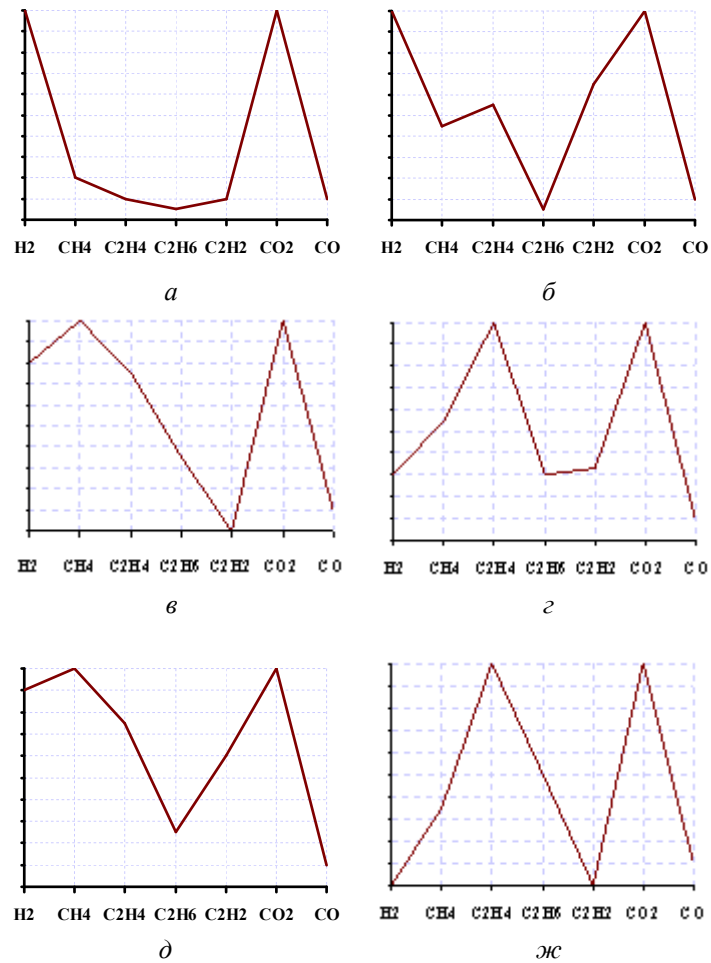
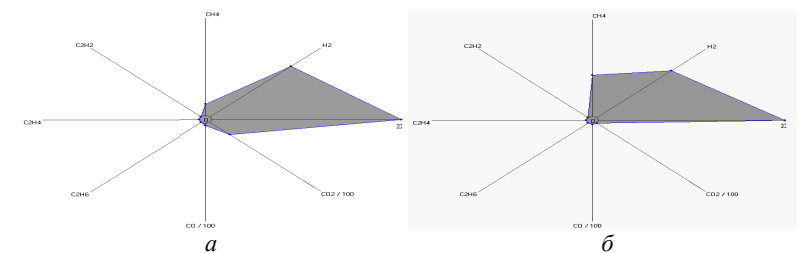


Рис. 7 – Діаграми дефектів: *a* – частковий розряд; *б* – іскровий або дуговий розряд; *в, г* – перегрів; *д, е* – перегрів з можливим переходом у дуговий розряд; *ж, з* – перегрів з можливим переходом у частковий розряд; *до* – дуговий розряд;

Пелюсткова діаграма. Серйозна робота з інтерпретації ХАРГ проведена колективом фахівців Уральського Федерального університету.



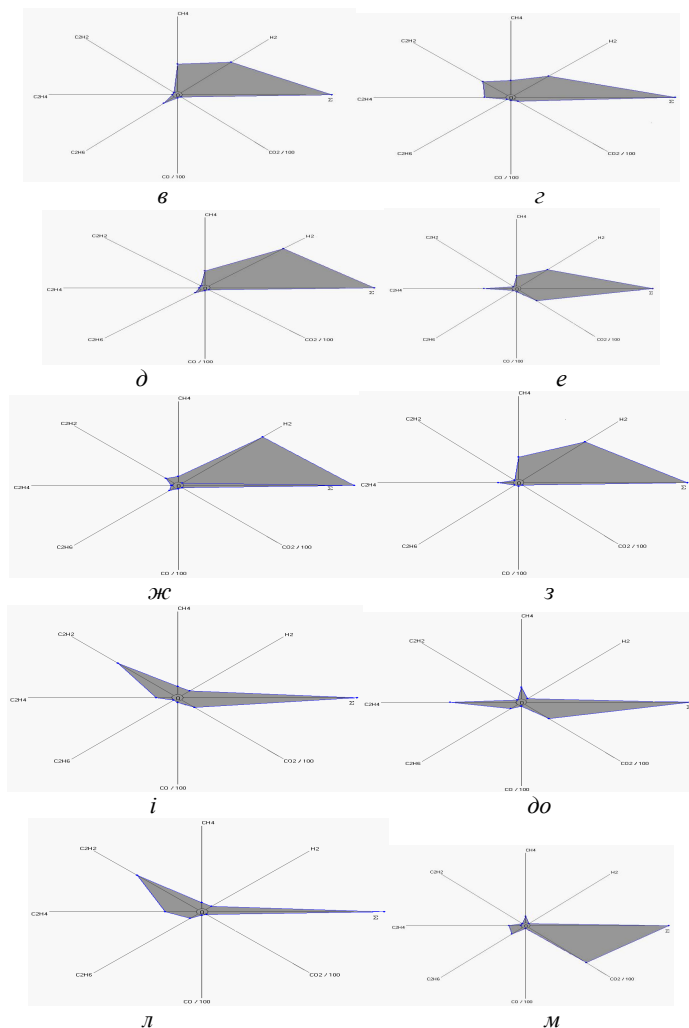


Рис. 8 – Петлюсткові діаграми за результатами ХАРГ, для різних типів дефектів: а – ЧР низької енергії, старіння; б – ЧР високої енергії; в – ЧР високої енергії, і низькотемпературне нагрівання; г – тепловий пробій ізоляції; д – ЧР і низькотемпературне нагрівання (X-Bick); е – ЧР низької енергії й високотемпературне нагрівання; ж – Іонізаційний пробій ізоляції; з – ЧР високої енергії й високотемпературне нагрівання; и – Сильний розряд (дуга); до – Високотемпературне нагрівання, старіння ізоляційних матеріалів; л – Сильні розряди й високотемпературне нагрівання; м – Високотемпературне нагрівання в результаті ферорезонансу;

Для визначення характеру дефекту пропонується відображати стан об'єкта на основі результатів ХАРГ у вигляді 8-мі петлюсткової діаграми [7], де по семи променям відкладаються значення концентрацій газів, а по восьмому променю – їх сума, яка розраховується по формулі

$$S = \sum_{n=1}^5 K_i + m(K_{CO} + K_{CO_2}),$$

де K_i – концентрації водню й вуглеводневих газів;
 m – коефіцієнт масштабування (звичайно $m=0,01$);
 K_{CO} – концентрація CO;
 K_{CO_2} – концентрація CO₂.

Попередньо на петлюстковій діаграмі формується образ, що відповідає ДЗ (ПДЗ). Припустимі значення вибираються залежно від відзначених вище конструктивних особливостей і строку експлуатації устаткування. Потім на відповідних променях діаграми відображаються отримані з ХАРГ концентрації всіх газів. Отриманий образ дефектного стану устаткування необхідно зіставити з деяким набором еталонних зображень. Для їхнього одержання були проаналізовані численні випадки результатів ХАРГ і наступних фактів розтину трансформаторів 35-500 кВ. Після вивчення зібраних матеріалів було складено 14 видів еталонних діаграм, що відображають дефекти електричного й термічного характеру різної сили прояву (див. рис. 8).

У методиці розроблена спеціальна процедура порівняння отриманого зображення дефектного стану з еталонними образами, що припускає масштабування отриманого зображення, обчислення заходів близькості й споріднення, визначення коефіцієнта небезпеки й інших характеристик. Для цього пропонується спеціальна комп'ютерна програма.

У роботі [8] на основі аналізу великої кількості експериментальних даних методом петлюсткових діаграм для поліпшення використовуваного методу було запропоновано:

- 1) змінити масштаб концентрації чадного газу з 1:100 на 1:1;
- 2) забрати вісь сумарного значення концентрацій газів, тому що це вимагає додаткових розрахунків і не впливає на кінцевий результат (див. рис. 9).

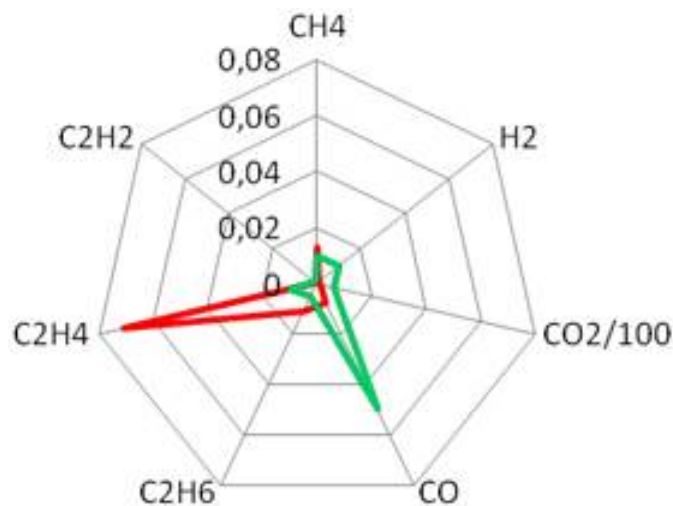


Рис. 9 – Удосконалена пелюсткова діаграма

Аналіз результатів. Наведений вище опис графічних методів інтерпретації ХАРГ, дозволяє класифікувати відомі методи по наступних основних ознаках:

1. Спосіб представлення об'єкта, що діагностується.

Усі розглянуті методи, по способу представлення об'єкта, що діагностується, можна розділити на дві групи. До першої групи, ставляться методи, у яких об'єкт представлений у вигляді точки в області діагнозів. До них відносяться трикутник Дюваля, трикутник GATRON, прямокутник Дюваля, і квадрат ETRA. Границі областей діагнозів встановлюються, або шляхом аналітичних обчислень, або на основі аналізу експлуатаційних даних. Рішення про тип дефекту ухвалюється, візуально по розташуванню точки, алгоритмічно по мінімуму діагностичної відстані. Основним недоліком такого підходу, є неповне використання діагностичної інформації через обмеження візуального сприйняття простору ознак.

До другої групи відносяться методи, у яких об'єкт, що діагностується, представляється у вигляді геометричної фігури. Це графічні образи дефектів, пелюсткові діаграми і т.д. У цьому випадку для ухвалення рішення потрібна наявність еталонних об'єктів, із заздалегідь установленими типами дефектів. Як правило, еталонні об'єкти виводять на основі аналізу експлуатаційних даних. Дані методи не мають обмежень за обсягом, використовуваної діагностичної

інформації, але вимагають великої кількості даних по дефектному устаткуванню.

2. Спосіб завдання координат.

Основою методу ХАРГ служить те, що будь-який термічний або електричний процес, що розвивається в трансформаторному маслі або в основній ізоляції, викликає її розкладання з виділенням газів, які, залежно від їхнього коефіцієнта розчинності можуть повністю залишатися в маслі або частково виділятися в обсяг газу над маслом. Кожному виду термічних або електричних процесів відповідає строго певний спектр газів. У зв'язку із цим у якості координат у графічних методах інтерпретації результатів ХАРГ використовують як, значення концентрацій газів, так і їх відносини. Проаналізуємо кожний з відомих способів завдання координат.

Концентрації газів. Використання безпосереднє значень концентрацій газів як координат для графічної інтерпретації результатів ХАРГ, має місце тільки в пелюсткових діаграмах І. В. Давиденко й у логарифмічному методі номограм. Основними недоліками даного підходу є: необхідність побудови діаграм для кожного виду устаткування (оскільки значення концентрацій газів значимо відрізняються для різного виду устаткування) і складність реалізації, наприклад для побудови пелюсткової діаграми І. В. Давиденко використовується спеціальна програма.

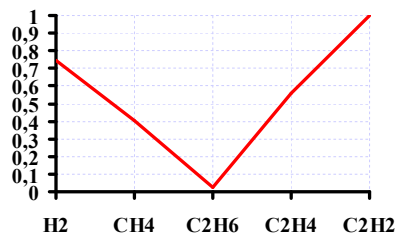
Відносини пар газів. Використовуються в методиках Дорненбурга й ETRA. Слід зазначити, що дані методи є неповною графічною візуалізацією аналітичних методів інтерпретації результатів ХАРГ, заснованих на використанні відносин пар газів. Основним недоліком даних методів є неповне використання діагностичної інформації, оскільки в якості координат використовуються відносини тільки двох пар газів, а мінімальне число відносин, рекомендоване в [1, 2] дорівнює трьом.

Процентний вміст газів. Використовується в трикутниках Дюваля й GATRON і до деякої міри в графічних образах дефектів. На думку авторів, це найбільш природний спосіб завдання координат, оскільки він відбиває співвідношення між концентраціями всіх газів у даній пробі.

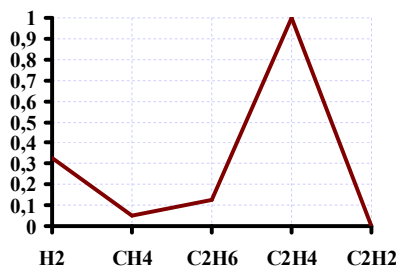
3. Кількість розпізнаваних дефектів. Найбільше число дефектів 13, дозволяють розпізнати метод графічних образів і пелюсткові діаграми. Більшість із аналізованих методів дозволяє розпізнати 7 найбільш характерних типів дефектів. Примітно, що в жодному із графічних методів, за винятком пелюсткових діаграм, немає області

відповідної до бездефектного стану, що зайвий свідчить про те, що й при відсутності дефекту, співвідношення між газами можуть ухвалювати значення, характерні для дефектного стану.

Основні напрямки вдосконалення. В [6] відзначається, відсутність збігів серед моделей дефектів, опублікованих різними авторами. Більше того, у частині публікацій спостерігаються значні розбіжності в співвідношеннях концентрацій газів однотипних дефектів. Крім того існує ще одна важлива проблема, яка мало озвучується у відкритому друці. Справа в тому, що ріст концентрацій газів у маслі силових трансформаторів, може бути викликаний не тільки розвитком дефекту, але й цілим рядом експлуатаційних впливів. Наприклад, короткими замиканнями, перенапругами, перевантаженнями і т.д. На рис. 10 наведені графічні образи дефектів, побудовані за значеннями концентрацій газів, для двох трансформаторів у яких виявлено перевищення концентраціями газів, значень відповідних до рівня 2 [1].



а



б

Рис. 10 – Графічні образи дефектів, побудовані по концентраціях газів, розчинених у маслі трансформаторів, що не мають дефектів: а – ТДТН 31,5/110/35/6, б – ТРДН 25/110/10

Перший образ (див. рис. 10 а) відповідає дуговому розряду в маслі. Але як показав аналіз, перевищення концентрацій газів у трансформаторі ТДТН 31,5/110/35/6 було викликано впливом атмосферної перенапруги. Другий образ (див. рис. 10 б) відповідає високотемпературному перегріву й розрядам. Але причиною росту концентрацій газів виявилось порушення контактних з'єднань на низькій стороні трансформатора. Як видно з наведених прикладів, графічні образи дефектів не дозволяють розпізнавати причину газовиділення, що є дуже важливим недоліком.

У зв'язку із цим для вдосконалення графічних методів інтерпретації пропонується визначити причини подібних розбіжностей і на основі виконаного аналізу синтезувати графічний метод розпізнавання, який би дозволив більш вірогідно розпізнавати тип дефекту. На думку авторів, подібне вдосконалення можливо, за рахунок обліку особливостей газоутворення в маслі негерметичного й герметичного устаткування й максимальному обліку факторів, що впливають на інтенсивність процесів газовиділення.

Висновки. На основі аналізу відомих графічних методів інтерпретації результатів ХАРГ встановлено, що всі розглянуті методи можна розділити:

1. По способу представлення об'єкта, що діагностується, можна розділити на дві групи. До першої групи, ставляться методи, у яких об'єкт представлений у вигляді точки в області діагнозів. До другої групи ставляться методи, у яких об'єкт, що діагностується, представляється у вигляді геометричної фігури;
2. По способу завдання координат, діляться на методи, у яких координати представлені значеннями концентрацій газів, відношенням пар газів і процентним вмістом газів;
3. По кількості розпізнаваних дефектів. Найбільше число дефектів 13, дозволяють розпізнати метод графічних образів і пелюсткові діаграми. Більшість із аналізованих методів дозволяє розпізнати 7 найбільш характерних типів дефектів. При цьому, у жодному із графічних методів, за винятком пелюсткових діаграм, немає області відповідної до бездефектного стану;

При вдосконаленні графічних методів інтерпретації результатів ХАРГ, слід прагнути не тільки до максимального збігу поставленого діагнозу з дійсним, але й розпізнавати причини газовиділення в маслі.

Список літератури: 1. Діагностика маслонаповненого трансформаторного обладнання за результатами хроматографічного аналізу вільних газів, відібраних із газового реле, і газів, розчинених у ізоляційному маслі СОУ-Н ЕЕ 46.501:2006. – Київ. – 2007. – 92 с; 2.

Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле: РД 153-34.0-46.302-00. – Офиц. изд. М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 28 с. – (Отраслевой руководящий документ действует с 01.01.2001); **3.** Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов/ ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 176 с; **4.** Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов/Б. А. Алексеев – М. НЦ ЭНАС, 2002 г. – 216 с.; **5.** Шутенко О.В., Баклай Д.Н., Острикова Т.А., Мельник Н.Ю. Анализ достоверности распознавания типов дефектов трансформаторов при использовании отношений пар газов и графических образов дефектов / О.В. Шутенко, Д.Н. Баклай, Т.А. Острикова, Н.Ю. Мельник // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Енергетика: надійність і енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №17– С. 180–189; **6.** Захаров А.В. Алгоритм оптимального принятия решения о состоянии аппарата при диагностировании силовых маслонаполненных трансформаторов /А.В. Захаров// Новое в российской энергетике. – 2001. – N 3 – С. 27 – 34; **7.** Давиденко И.В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования: Автореф. дис. доктора техн. наук / «Уральский государственный технический университет – ПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». – Екатеринбург: 2009. – 45 с; **8.** Касимова И.Х. Оценка нового метода интерпретации результатов хроматографического анализа растворенных в трансформаторном масле газов // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии, 2012.–URL: <http://www.online-electric.ru/articles.php?id=6>.

Bibliography (transliterated): **1.** Diagnostika maslonapovnenogo transformatornogo obladnannja za rezul'tatami hromatografichnogo analizu vil'nih gaziv, vidibranih iz gazovogo rele, i gaziv, rozchinenih u izoljacijnomu masli SOU-N EE 46.501:2006. – Kiïv. – 2007. Print **2.** Metodicheskie ukazanja po diagnostike razvivajushhhsja defektov transformatornogo oborudovanija po rezul'tatam hromatograficheskogo analiza gazov, rastvorenyh v masle: RD 153-34.0-46.302-00. Moscow NC JeNAS, 2001. Print. **3.** Popov G. V. *Voprosy diagnostiki silovyh transformatorov/* FGBOUVPO «Ivanovskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet imeni V.I. Lenina». Ivanovo, 2012. Print. **4.** Alekseev B. A. *Kontrol' sostojanija (diagnostika) krupnyh silovyh transformatorov* M. NC JeNAS, 2002 Print. **5.** Shutenko O. V., Baklaj D. N., Ostriкова T. A., Mel'nik N. Ju. Analiz dostovernosti raspoznavanija tipov defektov transformatorov pri ispol'zovanii otnoshenij par gazov i graficheskikh obrazov *Visnik NTU «KHPI»*. Tematichnij vipusk: *Energetika: nadijnist' i energoeftivnist'*. – Kharkiv: NTU «KHPI», 2013. No. 17.180–189 Print **6.** Zaharov A. V. Algoritm optimal'nogo prinjatija reshenija o sostojanii apparata pri diagnostirovanii silovyh maslonaplnennyh transformatorov. *Novoe v rossijskoj jenergetike*. 2001. No. 3. 27 – 34 Print. **7.** Davidenko I. V. Razrabotka sistemy mnogoaspektnoj ocenki tehničeskogo sostojanija i obsluzhivaniya vysokovol'tnogo maslonaplnennogo jelektrooborudovanija: Ekaterinburg: 2009. Print. **8.** Kasimova I. H. Ocenka novogo metoda interpretacii rezul'tatov hromatograficheskogo analiza rastvorenyh v transformatornom masle gazov *Onlajn Jelektrik: Jelektrojenergetika. Novye tehnologii*, 2012.–URL: <http://www.online-electric.ru/articles.php?id=6>.

Поступила (received) 29.04.2015